

CALENTAMIENTO RECIENTE Y VARIABILIDAD TÉRMICA PLURISECULAR: EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL SEMESTRE FRÍO (OCTUBRE-MARZO) EN EL SECTOR CENTRAL DEL VALLE DEL EBRO ENTRE 1500 Y 2007

Miguel A. SAZ SANCHEZ ¹, José CREUS NOVAU ²

¹*Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza*

²*Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

masaz@unizar.es, creus@ipe.csic.es

RESUMEN

En este trabajo se presenta la evolución de la temperatura media del semestre frío (octubre-marzo) en el sector central del Valle del Ebro entre 1500 y 2007. La serie térmica analizada combina la información reconstruida mediante técnicas dendroclimáticas en el observatorio de Pallaruelo de Monegros con los datos de una serie regional obtenida con observatorios del entorno. Su longitud permite analizar las anomalías climáticas recientes en un contexto temporal más amplio que el que posibilita la información instrumental. La serie térmica señala la segunda mitad del siglo XX y en especial los últimos años de la serie, como el periodo más cálido en los últimos 500 años.

Palabras clave: Sector Central del Valle del Ebro, NE de España, Paleoclimatología, Dendroclimatología, Calentamiento Reciente.

ABSTRACT

In this work we present the cold season (October-March) mean temperatures evolution in the Central Ebro Valley (North East of Spain) from AD 1500 to AD 2007. This temperature series combine dendroclimatic data reconstructed in the Pallaruelo de Monegros weather station with a regional series calculated with a set of weather stations located near Pallaruelo. The extent of this series allows us to analyze recent climatic anomalies in a more extensive temporary context. This series shows the second half of 20th century and specially the last years of the series the warmest period of the last 500 years.

Key words: Central Ebro Valley, North East of Spain, Paleoclimatology, Dendroclimatology, Recent Warming.

1. INTRODUCCIÓN

El IV Informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC-AR4) (SOLOMON *et al*, 2007) señala que el calentamiento del sistema climático terrestre es ya una realidad, manifestada en un aumento de la temperatura media del planeta de 0,76 °C (\pm 0,19) desde la segunda mitad del siglo XIX hasta el quinquenio 2001-2005 (TRENBERTH *et al*, 2007). La importancia de este calentamiento es significativa (D'ARRIGO *et al*, 2007). Pero esta afirmación sólo podemos aplicarla al marco temporal de poco más de 150 años del periodo

instrumental. Así, se ha entendido como fundamental en los estudios sobre cambio climático antropogénico disponer de información continua sobre la evolución del clima en las pasadas centurias, a partir de la que evaluar la magnitud, significación y posible excepcionalidad de las variaciones actuales.

BRIFFA *et al* (1998), JONES *et al* (1998), CROWLEY (2000), ESPER *et al* (2002), MANN y JONES (2003), COOK *et al* (2004), MOBERG *et al* (2005), RUTHERFORD *et al* (2005) y D'ARRIGO *et al* (2006) entre otros, han construido series que muestran la evolución global de las temperaturas a lo largo del último milenio a partir de distintos modos de integración de datos *proxy* y de reconstrucciones paleoclimáticas de ámbito regional. Esas series muestran un patrón evolutivo de las temperaturas bastante similar (MOBERG *et al*, 2005). En todos los casos quedan bien definidos el signo y la cronología del Episodio Cálido Medieval (ECM) y de la Pequeña Edad del Hielo (PEH), aún apareciendo diferencias en cuanto a la magnitud del calentamiento y enfriamiento. Se detecta asimismo la tendencia positiva de las temperaturas desde el final de la PEH hasta la actualidad. Este incremento térmico es más acelerado a partir de los años setenta del siglo XX, lo que nos lleva a que el último decenio sea considerado como el más cálido del último milenio (LUTERBACHER *et al*, 2004; XOPLAKI *et al*, 2005).

A escala regional, la respuesta de las variables climáticas frente a los forzamientos que condicionan la evolución del clima es compleja. Esto hace que determinadas zonas muestren en ocasiones diferencias respecto a ese patrón general, que aconsejarían el uso de un conjunto lo más amplio posible de reconstrucciones de ámbito regional para identificar las anomalías más importantes y tratar de inferir las causas atmosféricas que condicionan su evolución. Esa información ha de ayudarnos, además, a contextualizar mejor los cambios ambientales recientes detectados a esa escala de análisis territorial y que puedan ser atribuibles al proceso de calentamiento, contribuyendo a mejorar su gestión y las estrategias de adaptación.

Con esta idea como referente, en este trabajo se analiza la evolución de la temperatura media del semestre frío (octubre-marzo) en el sector central del Valle del Ebro desde el siglo XVI. Para la reconstrucción de los datos preinstrumentales se han aplicado técnicas basadas en la dendroclimatología, utilizándose como fuentes de información las series de crecimiento radial de árboles centenarios localizados en el Sistema Ibérico y Pirineos y los datos instrumentales registrados en el observatorio de Pallaruelo de Monegros, localizado a 335 mts sobre el nivel del mar al norte de la Sierra de Alcubierre, en la provincia de Huesca (41°42'15''N y 1°47'30''W). Esa reconstrucción se ha combinado con una serie regional obtenida a partir de la información instrumental de observatorios situados en el sector central del Valle del Ebro. La serie compuesta resultante permite extender la información sobre las temperaturas del semestre frío en forma de serie continua desde 1500 hasta 2007. De esta forma trataremos de insertar las tendencias y extremos recientes, observados en un contexto de cambio climático antropogénico, en un marco temporal plurisecular, que nos ha de posibilitar valorar más adecuadamente su posible excepcionalidad en el marco temporal de la últimas centurias.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2. 1. Reconstrucción dendroclimática de las temperaturas en Pallaruelo de Monegros

Las cronologías utilizadas para la reconstrucción de las temperaturas en Pallaruelo de Monegros (fig. 1) proceden del banco de información dendrocronológica existente en España

(RICHTER y RODRÍGUEZ-TROBAJO, 1986; CREUS *et al*, 1992; GÉNOVA *et al*, 1993; PÉREZ ANTELO, 1994).

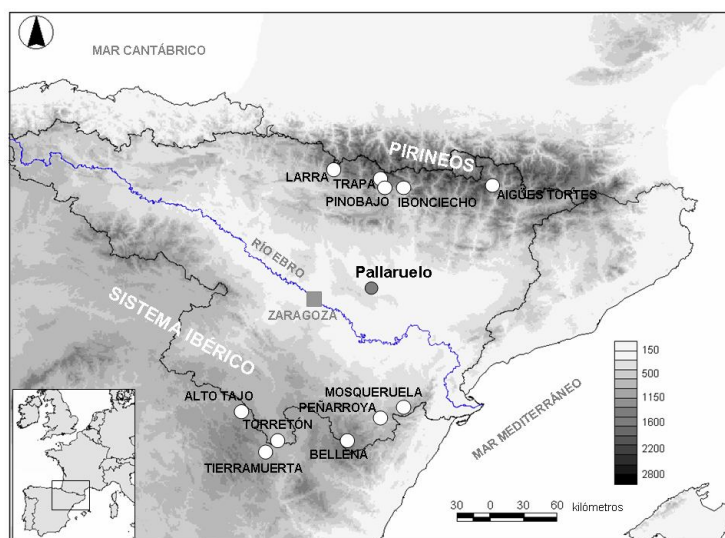


Fig. 1: Situación de las cronologías (círculos blancos) utilizadas

Para la elaboración de las cronologías de la Fig. 1 se siguió la metodología dendrocronológica tradicional (FRITTS, 1991). En cada una de las zonas se seleccionaron entre 20 y 25 árboles vivos, situados en zonas de elevado estrés climático y con aspecto exterior que indicase una alta longevidad. De cada uno de ellos se extrajeron, mediante una barrena tipo *pressler*, dos muestras (cores) de su crecimiento radial. Una vez secos y colocados en soportes de madera, los cores fueron pulidos con lijas de grano sucesivamente más fino. Su anchura se midió con un medidor ANIOL, con precisión de 0,01 mm (ANIOL, 1983). Para obtener una correcta datación absoluta de los anillos, las series de mediciones fueron testadas y sincronizadas mediante COFECHA (HOLMES, 1997). Para eliminar las tendencias de baja frecuencia relacionadas con la edad del árbol, las series de crecimiento fueron estandarizadas mediante el programa ARSTAN, que ajusta cada serie a un modelo teórico de crecimiento, generalmente una función exponencial negativa o una *spline*, que permite transformar los valores reales de crecimiento en índices independientes de la edad del árbol. El conjunto de muestras de una localidad, sincronizadas y estandarizadas, se agrupan formando una cronología local. Los principales estadísticos de las cronologías utilizadas se señalan en la tabla 1.

El proceso de reconstrucción se realizó aplicando la metodología propuesta por MANRIQUE (1997), basada en la existencia de importantes relaciones en la evolución del clima de observatorios alejados geográficamente (VILLA *et al*, 1985). Esta característica es aplicable también a las series dendrocronológicas (GÉNOVA, 1988), lo que permite la utilización conjunta de un mayor número de series de crecimiento para reconstruir el clima de un lugar (FERNÁNDEZ y MANRIQUE, 1997), aumentando con ello el número de variables que pueden ser reconstruidas y la fiabilidad de las reconstrucciones. Así pueden utilizarse series de

crecimiento radial alejadas geográficamente del observatorio reconstruible, pero que en cambio ofrecen buena correlación con las variables climáticas, algo que no supone un problema cuando el objetivo es captar la señal macroclimática.

Una vez seleccionadas las muestras, se agrupan para formar unas nuevas dendrocronologías según criterios de coherencia geográfica y uniformidad climática. Las series de crecimiento de cada una de esas regiones se estandarizan con ARSTAN y se obtiene una cronología estándar de la zona que aporta mayor señal climática y mejora la señal común que puede ser reconstruida, a la vez que retiene una mayor proporción de la variabilidad de baja frecuencia (MANRIQUE Y FERNÁNDEZ, 2000).

Cronología	Especie	altitud	long	ncor	sm	ds	lag1	s/n	cp
Larra	<i>P. uncinata</i> R	1.800	361	26	0,13	0,15	0,41	5,7	0,85
Trapa	<i>P. sylvestris</i> L	1.750	348	16	0,19	0,22	0,43	5,5	0,84
Pinobajo	<i>P. uncinata</i> R	1.850	450	18	0,17	0,19	0,31	3,8	0,72
Ibonciecho	<i>P. sylvestris</i> L	1.900	481	24	0,14	0,14	0,28	6,8	0,87
Aigües Tortes	<i>P. uncinata</i> R	2.350	690	14	0,16	0,20	0,40	5,5	0,80
Alto Tajo	<i>P. nigra</i> A	1.350	379	16	0,19	0,24	0,54	5,2	0,82
Torretón	<i>P. nigra</i> A	1.300	504	17	0,19	0,26	0,48	5,4	0,84
Tierramuerta	<i>P. nigra</i> A	1.350	375	14	0,23	0,28	0,50	6,9	0,87
Bellena	<i>P. nigra</i> A	1.550	510	28	0,24	0,20	0,27	8,0	0,84
Peñarroya	<i>P. uncinata</i> R	2.000	351	26	0,27	0,16	0,49	9,3	0,87
Mosqueruela	<i>P. nigra</i> A	1.300	336	14	0,28	0,25	0,59	6,0	0,83

Tabla 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS CRONOLOGÍAS. long: LONGITUD DE LA CRONOLOGÍA (AÑOS); ncor: NÚMERO DE MUESTRAS; sm: SENSIBILIDAD MEDIA; ds: DESVIACIÓN ESTÁNDAR; lag1: AUTOCORRELACIÓN DE PRIMER ORDEN; s/n: TASA SEÑAL-RUIDO; cp: CONCORDANCIA POBLACIONAL.

Los datos climáticos utilizados para la calibración de las dendrocronologías proceden del observatorio instrumental de Pallaruelo de Monegros (código INM, 9910). Este observatorio fue seleccionado de entre los disponibles en la zona por ser representativo de los ambientes esteparios del sector central del Valle del Ebro, pero también por la longitud y calidad de su serie de registros, libres de efecto urbano, de una duración superior a 35 años y un escaso porcentaje de lagunas de información. Éstas se rellenaron mediante modelos de regresión simple con series de observatorios vecinos, evaluándose también su homogeneidad mediante el *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT), propuesto por ALEXANDERSSON (1986).

El método de reconstrucción a partir de las nuevas dendrocronologías es el habitual (FRITTS *et al*, 1991), basado en modelos de regresión y análisis de componentes principales entre las variables climáticas y las series de índices de crecimiento considerados para los años t y $t-1$, utilizando el programa PRECON-K. De esta forma fue posible reconstruir la temperatura media del primer y cuarto trimestres, agrupadas posteriormente para obtener el valor medio de la temperatura del semestre frío, el que transcurre entre octubre y marzo. La proporción de varianza explicada por la función respuesta, constituye el indicador fundamental para verificar la validez de una reconstrucción dendroclimática. Los valores obtenidos fueron de 0,57 para el

primer trimestre y 0,66 para el cuarto, superando en ambos casos el valor mínimo de 0,32 señalado por la bibliografía (COOK y KARIUKSTIS, 1990).

2. 2. Construcción de la serie regional instrumental y de la serie compuesta

Aunque en el proceso metodológico que conduce a la reconstrucción del clima a través de técnicas dendroclimáticas es necesaria la información de un observatorio instrumental para la calibración de las cronologías, la naturaleza de los datos *proxy* utilizados hace que la información reconstruida podamos entender que es representativa de la evolución del clima en un espacio regional más amplio que el de un observatorio instrumental.

Teniendo en cuenta esa representatividad espacial de las reconstrucciones, para elaborar una serie compuesta que prolongue los datos de la reconstrucción hasta la actualidad combinando información dendroclimática e instrumental, se calculó primero una serie regional a partir de los datos de observatorios localizados en el entorno de Pallaruelo de Monegros en un radio no superior a los 60 kmts. Los observatorios utilizados fueron Almodévar-Granja (código INM 9491), Zuera-El Vedado (9495), Escatrón (9523), Caspe-Ayuntamiento (9574), Barbastro-Comarcal (9866), Panzano (9885), Lastanosa-Lasesa (9893E), Huesca-Monflorite (9898), Grañén-Pinilla (9904I) y Grañén-Montesodeto (9907I). Rellenas las lagunas y testada la homogeneidad de esas series mediante el SNHT, la serie regional representativa del periodo instrumental se calculó mediante un promedio ponderado, utilizándose como factores de ponderación los coeficientes de correlación obtenidos entre las series de diferencias de cada observatorio y la de los datos de Pallaruelo. En la fig. 2 puede verse cómo esta serie regional, centrada en Pallaruelo, muestra un elevado grado de ajuste ($R=0,89$) en su periodo común con los datos obtenidos a partir de la reconstrucción dendroclimática.

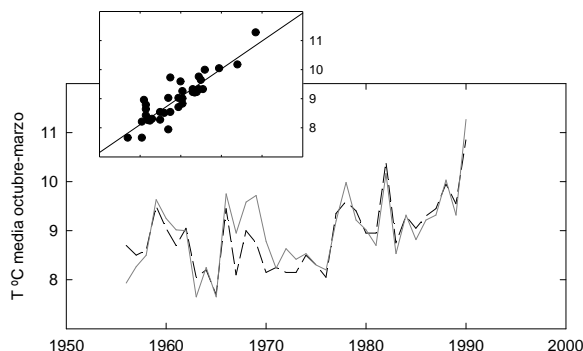


Fig. 2: Evolución de la temperatura media del semestre frío de la serie reconstruida (línea discontinua negra) y de la regional-instrumental (línea continua gris) durante el periodo común. Arriba, diagrama de dispersión y recta de ajuste entre ambas variables ($R=0,89$)

El valor de la temperatura media para el periodo común en la serie dendroclimática es de 8,91 °C, frente a los 8,97 °C de la serie regional. En el caso de la desviación estándar, los valores son de, respectivamente, 0,71 y 0,76 °C. Teniendo en cuenta el elevado grado de ajuste entre las series y la no existencia de diferencias significativas entre la media y la desviación estándar

calculada para ambas series, para prolongar los datos hasta 2007 la información reconstruida para el periodo 1955-90 se ha sustituido por la de la serie regional, de manera que la resultante comprende desde 1500 a 2007. La fiabilidad de esta nueva serie se ha evaluado a través del SNHT, sin detectarse inhomogeneidades significativas en torno a 1955, año en el que cambia la naturaleza de las series.

3. EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS ENTRE 1500 Y 2007: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La serie compuesta de la temperatura media del semestre frío desde 1500 hasta la actualidad ha sido representada gráficamente en la fig. 3 (curva gris), con un suavizado mediante un filtro gaussiano de paso bajo y una amplitud de 10 años (curva negra). También se ha representado el valor medio del periodo mas reciente 1991-2007 mediante una línea discontinua horizontal y el del periodo 1850-1950, que utilizaremos como referencia para la comparación entre medias, mediante línea continua horizontal. La elección de este periodo se justifica por ser un intervalo de tiempo situado entre el final de la PEH y antes de los significativos incrementos térmicos actuales atribuidos a la actividad antrópica.

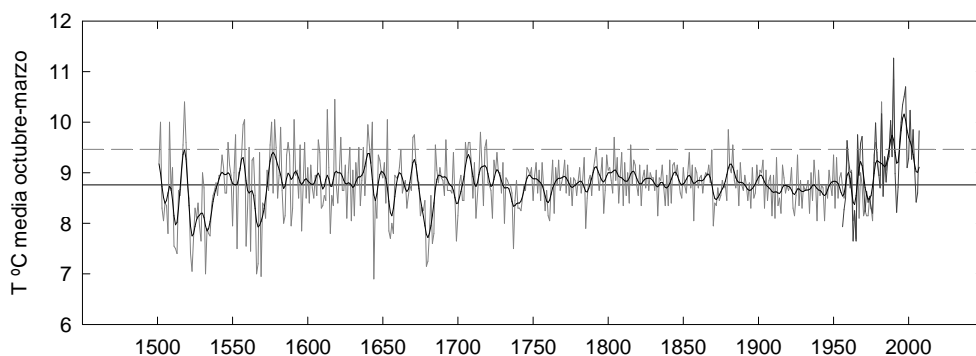


Fig. 3: Evolución de la temperatura media del semestre frío (octubre-marzo) entre 1500 y 2007 en el sector central del Valle del Ebro

Con objeto de situar cronológicamente las oscilaciones de media y alta frecuencia que jalonarían la evolución térmica del sector central el Valle del Ebro en los últimos cinco siglos, en la tabla 2 se han señalado los periodos de 50, 25, 10 y 5 años más cálidos y más fríos, así como la diferencia en grados Celsius respecto de la media del periodo 1850-1950.

Uno de los primeros aspectos a señalar se refiere a los valores medios obtenidos en los siglos en los que teóricamente se inserta la PEH. Durante ese periodo, la serie reconstruida no muestra un enfriamiento continuado, siendo la media entre 1500 y 1850 de 8,76 °C, la misma que en el periodo de referencia 1850-1950 y sólo algo más de 0,1 °C inferior a la del siglo XX. La ausencia de una deriva térmica continuada durante la PEH no es exclusiva del área de estudio, habiendo sido ya señalada por LAMB (1977) para Europa.

Más cálidos	Más fríos
Periodos de 50 años	
1958-2007 (+0,42)	1522-1571 (-0,29)
Periodos de 25 años	
1978-2002 (+0,76)	1511-1535 (-0,52)
1705-1729 (+0,26)	1675-1679 (-0,29)
1618-1642 (+0,25)	1550-1574 (-0,18)
Periodos de 10 años	
1994-2003 (+1,13)	1675-1684 (-0,83)
1982-1991 (+0,74)	1520-1529 (-0,78)
1573-1582 (+0,51)	1565-1579 (-0,60)
1634-1643 (+0,50)	1504-1513 (-0,48)
1702-1711 (+0,32)	1736-1745 (-0,35)
Periodos de 5 años	
1994-1998 (+1,47)	1679-1683 (-1,09)
1986-1990 (+1,07)	1522-1526 (-1,05)
1639-1643 (+0,81)	1532-1536 (-1,00)
1575-1579 (+0,78)	1566-1570 (-0,97)
1554-1558 (+0,72)	1511-1515 (-0,83)

Tabla 2: PERIODOS DE 50, 25, 10 Y 5 AÑOS MÁS FRÍOS Y MÁS CÁLIDOS EN LA SERIE. DIFERENCIAS EXPRESADAS EN GRADOS CELSIUS Y REFERIDAS A LA MEDIA DEL PERIODO 1850-1950 (8,76 °C).

La PEH vendría en cambio caracterizada por la presencia de importantes crisis frías de carácter decenal y pluridecenal. En nuestra serie, estas crisis son especialmente intensas en el siglo XVI, centuria en la que otras reconstrucciones dendroclimáticas realizadas en España señalan el momento en el que se producirían los enfriamientos más importantes (SAZ, 2005) frente al mayor descenso térmico observado en el XVII en otras zonas de Europa central y septentrional y en las series de carácter global y hemisférico (BRIFFA *et al*, 1998; JONES *et al* 1998; CROWLEY 2000; ESPER *et al* 2002; MANN y JONES, 2003). En relación con ese mayor enfriamiento del siglo XVI en el valle del Ebro, en la tabla 2 podemos ver cómo dos de los tres periodos de 25 años con una temperatura media reconstruida más baja se localizan en esa centuria, en concreto en los intervalos 1511-1535 y 1550-1574 cuya anomalía es de -0,52 °C (diferencia significativa $\alpha=0,01$) y -0,18 °C (diferencia significativa $\alpha=0,10$), respectivamente, por debajo de la de referencia. Además, de los cinco decenios más fríos, tres se localizan en el siglo XVI, uno en el XVII (coincidiendo con el Mínimo Maunder) y otro en el XVIII, con descensos promedio que en 10 años llegan a superar las ocho décimas de grado. En el caso de los quinquenios más fríos, de los cinco señalados como más extremos, cuatro los encontramos en el siglo XVI y uno en el XVII, con derivas térmicas negativas que llegan a superar 1 °C.

Estas crisis frías coinciden en su cronología con episodios del mismo signo identificados en otros ámbitos peninsulares (SAZ y CREUS, 2003; SAZ, 2005) y en el resto de Europa (BRIFFA *et al*, 1992; BRIFFA, 1994; BRIFFA *et al*, 1999; GLASER *et al* 1999; GROVE y CONTERIO, 1994, 1995; GUIOT 1992; HUGHES *et al*, 1999; KALELA-BRUNDIN, 1999; KOSLOVSKY y GLASER, 1999; PFISTER y BRAZDIL, 1999.

Las temperaturas se recuperan en el primer tercio del siglo XVIII. A partir de entonces los registros se mantienen en valores similares a la media de referencia, sin detectarse oscilaciones frías o cálidas de especial intensidad hasta la segunda mitad del siglo XX. Cabría destacar únicamente las crisis frías que se localizan en el tercio central del siglo XVIII y también en las décadas centrales del siglo XIX, momento en el que suele situarse el final de las anomalías climáticas relacionada con la PEH (JONES *et al*, 1998; KALELA-BRUNDIN, 1999). Sin embargo, este momento coincide con un nuevo deterioro térmico identificado en distintas zonas del continente (JACOBY y D'ARRIGO, 1989; PFISTER, 1992; BRIFFA, 1995; KALELA-BRUNDIN, 1999) y en algunas reconstrucciones realizadas en Norteamérica y Groenlandia (D'ARRIGO y JACOBY, 1992) que lo señalan como el momento de mayor intensidad de la PEH en esos ámbitos. Toda esta disincronía espacial muestra, una vez más, la dificultad existente para atribuir a este episodio del final de la PEH un patrón de evolución común en todo el hemisferio norte.

La primera mitad del siglo XX no ofrece tampoco anomalías térmicas importantes, si bien los registros suelen quedar en valores inferiores a los 8,76 °C de la media de referencia. Sin embargo, el periodo que ocupa la segunda mitad de la centuria y los primeros años del siglo XXI, se muestra como el más cálido en el marco temporal de los más de cinco siglos analizados. El intervalo 1958-2007 es el periodo de 50 años con una temperatura media entre octubre y marzo más elevada, siendo de 0,42 °C por encima de la media del periodo de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,01$). Asimismo, los años comprendidos entre 1978-2002 constituyen el intervalo de 25 años más cálido desde el año 1500, con una media superior en 0,76 °C a la del periodo de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,01$). El carácter cálido de este periodo quedaría remarcado por la presencia desde 1980 de los dos decenios y los dos quinquenios más cálidos: el de 1994-2003 (+1,13 °C, diferencia significativa $\alpha=0,01$), el de 1982-1991 (+0,74 °C, diferencia significativa $\alpha=0,01$), el de 1994-1998 (+1,47 °C, diferencia significativa $\alpha=0,01$) y el de 1986-1990 (+1,07 °C, diferencia significativa $\alpha=0,01$). De hecho, la temperatura media del semestre octubre-marzo obtenida para el decenio 1994-2003 sólo ha sido superada en 23 ocasiones (el 4,5 % de los casos) en los 507 años con que cuenta la serie compuesta aquí analizada, de los que 9 tuvieron lugar a partir de 1978.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de la reconstrucción dendroclimática de la temperatura media del semestre frío (octubre-marzo) realizada en Pallaruelo y su solapamiento con información instrumental para extender los datos hasta el año 2007, parecen indicar que el momento climático presente muestra un comportamiento diferenciado en el marco de las cinco últimas centurias.

Su evolución desde el siglo XVI sigue un patrón de características comunes al observado en reconstrucciones de ámbito regional realizadas en otros espacios peninsulares. El mayor enfriamiento se localiza en el XVI, a diferencia de lo que sucede en otras zonas de Europa en las que esta fase de mayor intensidad de la PEH se localizaría en el XVII, en especial durante el Mínimo Maunder. Este episodio, en cualquier caso, aparece bien identificado en nuestra reconstrucción, relacionándose con un significativo descenso de las temperaturas.

Tras un periodo de algo más de dos centurias (siglos XVIII, XIX y la primera mitad del XX) en el que no se detectan anomalías térmicas comparables a las de las dos centurias precedentes, en la segunda mitad del siglo XX y en los primeros años del siglo XXI las temperaturas medias

del semestre octubre-marzo acusan una importante tendencia positiva, que nos lleva a la presencia de los intervalos más cálidos de la reconstrucción. Los incrementos térmicos observados en las últimas décadas en nuestro área de estudio respecto al periodo 1850-1950, están en torno a los 0,76 °C señalados a nivel global por TRENBERTH *et al*, (2007) en el IPCC-AR4 (SOLOMON *et al*, 2007) para el quinquenio 2001-2005 en relación a los valores del siglo XIX. Así, en los cincuenta años del periodo 1958-2007 la temperatura media de la estación fría (octubre-marzo) en el sector central del Valle del Ebro supera en 0,48 °C a la del periodo de referencia y en 0,76 °C en el periodo 1978-2002. En intervalos de 5 y 10 años, las medias obtenidas en las últimas décadas llegan a superar a la del periodo de referencia en más de 1 °C, como en el 1994-2003 en el que la anomalía alcanza los 1,13 °C o en el 1994-1998, donde se rozan los 1,5 °C..

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del Programa de Grupos Consolidados del Gobierno de Aragón, Grupo *Clima, Cambio Global y Sistemas Naturales*. Los datos instrumentales fueron suministrados por el Centro Meteorológico Territorial de Aragón, Navarra y La Rioja (Agencia Estatal de Meteorología-AEMET).

6. REFERENCIAS

- ALEXANDERSSON, A. (1986): "A homogeneity test applied to precipitation data". *Journal of Climatology*, 6, pp 661-675.
- ANIOL, R.W. (1983): "Tree-ring analysis using CATRAS". *Dendrochronologia* 1, pp 45-53.
- BRIFFA, K.R. (1994): Tree-ring evidence of northern Fennoscandian summer temperatures during the Maunder Minimum period. En FRENZEL, B (ed) *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*, European Science Foundation. pp 23-32.
- BRIFFA, K.R., JONES, P.D., SCHWEINGRUBER, F.H. y OSBORN, T.J. (1998): "Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years". *Nature*, 393. pp 350-354
- BRIFFA, K.R., JONES, P.D., VOGEL, R.B., SCHWEINGRUBER, F.H., BAILLIE, M.G.L., SHIYATOV, S.G. y VAGANOV, E.A.(1999): "European tree-rings and climate in the 16th century". *Climatic Change*, 43. pp 151-168.
- BRIFFA, K.R. y SCHWEINGRUBER, F.H. (1992): Recent dendroclimatic evidence of northern and central European summer temperatures. En BRADLEY, R.S.y JONES P.D. (eds), *Climate Since A.D. 1500*, Routledge, pp 366-391.
- COOK, E.R., ESPER, J. y D'ARRIGO, R.D. (2004): "Extra-tropical Northern Hemisphere land temperature variability over the past 1000 years". *Quaternary Science Review*, 23(20-22), pp 2063-2074.
- COOK, E.R. y KAIRIUKSTIS L.A. (1990): *Methods of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. Londres, 394 p.
- CREUS, J., GÉNOVA, M., FERNÁNDEZ, A. y PÉREZ, A. (1992): «New Dendrochronologies for Spanish Mediterranean Zone», *Lundqua Report* 34, pp 76-78.
- CROWLEY, T.J. (2000): "Causes of climate change over the past 1000 years", *Science*, 289. pp 270-277.

- D'ARRIGO, R. y JACOBY, G.C. (1992): Dendroclimatic evidence from Northern America. En BRADLEY, R.S. y JONES P.D. (eds), *Climate Since A.D. 1500*, Routledge, pp 256-288.
- D'ARRIGO, R., WILSON, R., y JACOBY, G. (2006): "On the long-term context for late twentieth century warming". *Journal of Geophysical Research*, 111
- ESPER, J., COOK, E.R., y SCHWEINGRUBER F.H. (2002). "Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability". *Science*, 295, pp 5563
- FERNÁNDEZ, A. y MANRIQUE, E. (1997): *Nueva metodología para la reconstrucción dendroclimática y aplicaciones más importantes*. INIA, Madrid, 127 p.
- FRITTS, H. (1991): *Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data*. University of Arizona Press. 420 p.
- FRITTS, H. C., VAGANOV, E. A., SVIDERSKAYA, I. V. y SHASHKIN, A. V. (1991): "Climatic variation and tree-ring structure in conifers: Empirical and mechanistic models of tree-ring width, number of cells, cell size, cell-wall thickness and wood density". *Climate Research* 1, pp 97-116.
- GÉNOVA, M., FERNÁNDEZ, A. y CREUS, J. (1993): "Diez series medias de anillos de crecimiento en los Sistemas Carpetanos e Ibérico" *Investigación Agraria INIA* 2, pp 136-151.
- GÉNOVA, M. (1988): "Sincronización entre distintas cronologías del noreste de la Península Ibérica". *Options méditerranéennes*, 3. pp 337-340.
- GLASER, R., BRÁZDIL, R., PFISTER, C., DOBROVOLNY, P., BARRIENDOS, M., BOKWA, A., CAMUFFO, D., KOTYZA, O., LIMANOWKA, D. y RACZ, L. (1999). "Seasonal temperature and precipitation fluctuations in selected parts of Europe during the sixteenth century" *Climatic Change*, 43, pp 169-200.
- HOLMES, R. (1997): The Dendrochronology Program Library. En *The International Tree-Ring Data Bank Program*. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona. Tucson. 40-74.
- JONES, P.D., BRIFFA, K.R., BARNETT, T.P. y TETT, S.F.B. (1998): "High resolution paleoclimatic records for the last millenium: interpretation, integration an comparison with General Circulation Model control-run temperatures". *The Holocene* 8 (4), pp 455-471.
- KALELA-BRUNDIN, M. (1999): "Climatic information from tree-rings of *Pinus sylvestris* L. and a reconstruction of summer temperatures back to AD 1500 in Femundsmarka, eastern Norway, using partial least squares regression (PLS) analysis". *The Holocene*, 9(1), pp 59-77.
- LAMB, H.H. (1977): *Climate present, past and future*. Volumen 2. *Climatic history and the future*. Methuen, London; Barnes and Noble. 835 pp.
- LUTERBACHER, J., DIETRICH, D., XOPLAKI, E., GROSJEAN, M. y WANNER H. (2004): "European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500", *Science*, 303, pp 1499-1503.
- MANN, M.E. y JONES, P.D. (2003): "Global surface temperatures over the past two millennia". *Geophysical Research Letters*, 30 (15) pp 1820
- MANRIQUE, E. (1997): *Nuevos métodos de reconstrucción dendroclimática. Aplicaciones al estudio climático y fitoclimático del último milenio*. Tesis Doctoral, U.P.M., 320 pp.
- MANRIQUE, E. y FERNANDEZ, A. (2000): "Extreme climatic events in dendroclimatic reconstructions from Spain". *Climatic Change*, 44 (1-2).pp 123-138.

- MOBERG, A., SONECHKIN, D.M., HOLMGREN, K., DATSENKO, N.M., y KARLÉN, W. (2005): "Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low and high resolution proxy data". *Nature* 433, pp 613-617
- PÉREZ-ANTELO, A. (1994): "Nota de revisión de la investigación dendrocronológica en España", *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 3, pp 221-235.
- PFISTER, C. y BRAZDIL, R. (1999): "Climatic variability in sixteenth-century in Europe and its social dimension: a synthesis". *Climatic Change*, 43, pp 5-53.
- RICHTER, K. y RODRÍGUEZ-TROBAJO, E. (1986): "El banco de datos dendrocronológicos para la Península Ibérica", *Koiné*, pp. 66-77.
- RUTHERFORD, S., MANN, M.E., OSBORN, T.J., BRADLEY, R.S., BRIFFA, K.R., HUGHES, M.K. y JONES, P.D. (2005): "Proxy-based Northern Hemisphere surface temperature reconstructions: Sensitivity to method, predictor network, target season, and target domain". *Journal of Climate*, 18 (13), pp 2308-2329.
- SAZ, MA (2005). "La Pequeña Edad del Hielo en el Noreste Español. Reconstrucción dendroclimática de las temperaturas medias de invierno y verano". *Boletín Glaciológico Aragonés*, 6, pp 9-36
- SAZ, M.A. CREUS, J. y CUADRAT, J.M. (2003): "Mean summer temperatures dendroclimatic reconstruction in Northeast of Spain. Comparison with other regional studies". *Geophysical Research Abstracts*, vol 5.
- SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M. y MILLER, H.L. (2007): *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- TRENBERTH, K.E., JONES, P.D., AMBENJE, P., BOJARIU, R., EASTERLING, D., KLEIN TANK, A., PARKER, D., RAHIMZADEH, F., RENWICK, J.A., RUSTICUCCI, M., SODEN B. y ZHAI, P. (2007): Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. En: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR M. y MILLER H.L. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VILLA, D, GUERRA, J. y CORRES, R, (1985): *Análisis estadístico de la pluviometría de la Península Ibérica*. Instituto Nacional de Meteorología, Serie A-132, pp 17.
- XOPLAKI, E., LUTERBACHER, J., PAETH, H., DIETRICH, D., STEINER, N., GROSJEAN, M. y WANNER H., (2005): European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium, *Geophysical Research Letters*, 32.